

EGY BÜKKI KISVÍZGYŰJTŐ KARSZT ÁRVIZEINEK MODELLEZÉSE

MODELLING OF KARST FLOOD EVENTS FOR A SMALL CATCHMENT IN THE BÜKK MOUNTAINS

FEKETE ZSOMBOR - SÚRÚ PÉTER

ME MFK Hidrogeológiai- Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék,
3515 Miskolc-Egyetemváros; surupeter84@gmail.hu,
hgzsom@uni-miskolc.hu

Abstract: Due to the global climate change, karst floods are more frequent natural hazards in the Bükk. To prevent, or at least mitigate flash flood triggered losses, numeric model based flood forecasting models are ideal tools to predict them. The modelled area is the south-western part of the catchment of the Soltészkeri Spring, on the Bükk Plateau. Research of karst floods in the caves of the Bükk Plateau have begun in 2004 in the nearby Létrási-Vizes Cave and in the Szepesi-Láner Cave System. There have been recorded three major karst flood so far. The aim of this study is to build a 1D model for this small karst catchment. The US EPA SWMM model was used which employs the Manning equation for calculating the flow through a conduit system. Despite of the main usage of the method is modelling of sewer systems, there have been a few attempts to apply it for modelling flow through karst conduits. The dataset on which the model is based, have been collected in the last 30 years. This includes the map of the caves, precipitation data and recorded water levels in the cave. Additionally topographic, vegetation and soil data have been used to calculate runoff into the sinkholes.

1. Bevezetés

A bükki barlangok karsztárvízeinek kutatását 2004-ben kezdtük meg a Marcel Loubens Barlangkutató Egyesület tagjainak segítségével, többek között az ebben a tanulmányban is vizsgált Szepesi-Láner-barlangrendszer Szepesi részében. Ekkor adódott lehetőségünk arra, hogy automatikus vízszintregisztráló műszereket telepítsünk ezekbe a barlangokba. Az itt szerzett tapasztalatok alapján a mérési helyek számát 2005-2006 folyamán jelentősen bővítettük, ekkor kezdődött a mérés a Láner- és a Speizi-barlangban. Így már három helyen is észlelhettük az árhullámok levonulását egy összefüggő, változatos geometriájú járatrendszerben. A mérőhelyek és adatok integrálva lettek a Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszerbe (BKÉR) (LÉNÁRT *et al.* 2013). 2010 után azonban finanszírozási okok miatt a mérőhelyek számát csökkenteni kellett.

A mérések céljai között már a kezdetektől kiemelt szerepet kapott az árvízvédelem, hiszen Miskolc városában a közelmúltban több jelentős károkat okozó árvíz is levonult a Szinva-patakon és mellékvízfolyásain. Töre-

kedtünk annak meghatározására, hogy milyen nagyságú csapadékhullások növelik meg a területen a barlangi- és a felszíni árvizek kockázatát és milyen mértékben. Vizsgáltuk azt is, hogy milyen egyéb környezeti feltételek járulhatnak hozzá a kockázat növekedéséhez (SÚRÚ, 2010).

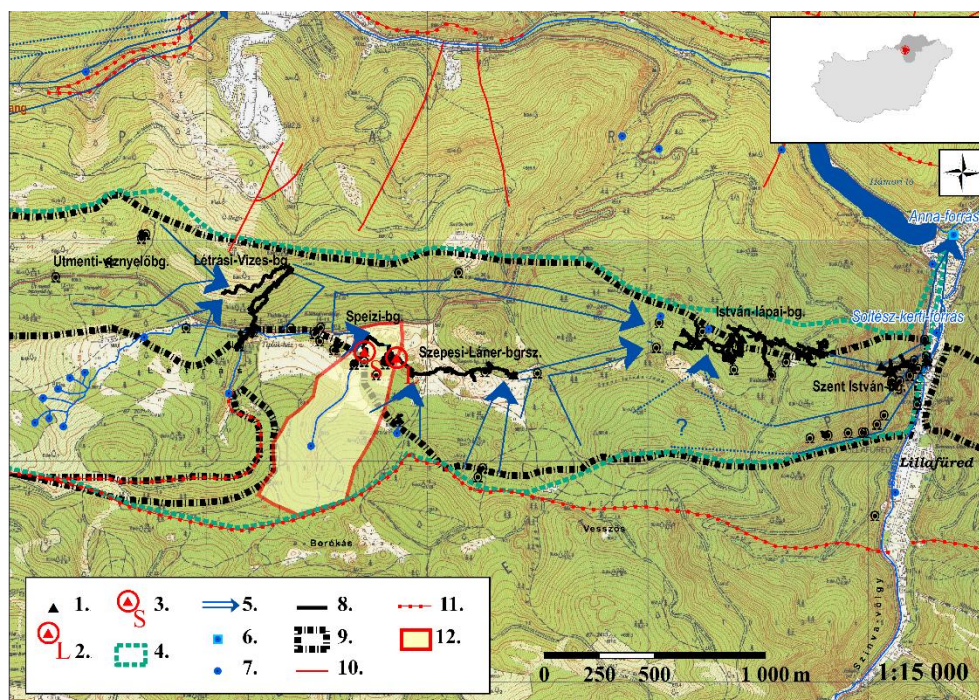
Az előrejelző célú vizsgálatokhoz szükségessé vált a járatrendszerek nemkarsztos- és karsztos vízgyűjtőjéről bejutó vízhozamok kiszámítása és a bejutó árhullám járatrendszerben való mozgásának modellezése. A modell felépítéséhez 1D-s megközelítést alkalmaztunk. Modellezéshez az US-EPA (Environmental Protection Agency) eredetileg csapadék- és szennyvízelvezető csatornák méretezésére kifejlesztett SWMM (Storm Water Management Model) szoftverének 5.022-es verzióját használtuk fel. (ROSSMAN, 2007). Ezt a programot korábban többen is próbálták felhasználni karsztos járatok modellezésére olyan területeken, ahol a vízvezető járatok ismertek, feltérképezettek voltak. (GABROVSEK – PERIC 2006, LI et al. 2008, CAMPBELL – SULLIVAN 2002).

2. Anyag és módszer

A vizsgált terület

A mintaterület kiválasztásakor fontos szempont volt, hogy a vízvezető barlangjáratok minél nagyobb része ismert legyen és álljanak rendelkezésre róla pontos térképek, valamint minél több olyan észlelési pont legyen rajta ahol az automata vízszintregisztrálók adatai alapján rekonstruálható az árhullámok levonulása. A vizsgált karsztos kisvízgyűjtő a Sajó-folyó vízgyűjtő területén található. A Sajó jobboldali mellékfolyóját, a Szinvát tápláló karsztforrások egyikével, a Soltészkeri-forrással áll kapcsolatban. A forrás karsztrendszere a Bükkfennsík ÉK-i csücskében a nem karsztosodó agyagpala és metavulkanit közé települt Fehérkői Mészke Formációban alakult ki (1. ábra, PELIKÁN et al. 2005).

A rendszer legmagasabban fekvő, még aktív árvízi forrásszája az idegenforgalmi barlanggá kiépített lillafüredi Szent István-barlang. Ezt a 2010-es árvizek is bizonyítják, amikor egymás után két alkalommal is elöntötte a barlangot a végpontról feltörő víz.



1. ábra: Avizsgált részvízgyűjtő a Soltész-kerti-forrás vízrendszerén: 1.: vízszintészlelő helyek; 2.: Láner-bg. Homok-szifon; 3.: Speizi-bg. I. szifon; 4.: vízgyűjtőhatár; 5.: felszín alatti vízáramlás iránya; 6.: Vizellátásba kapcsolt forrás; 7.: egyéb forrás; 8.: feltérképezett barlangjárat; 9.: Fehérkői Mészke Formáció; 10.: tektonikai törésvonal; 11.: feltolódás; 12.: a vizsgált részvízgyűjtő határa

Fig. 1: The studied part of the catchment on the watershed of the Soltész-kerti Spring: 1.: water level monitoring points; 2.: Láner Cave Sandy Sump; 3.: Speizi Cave. I. Sump; 4.: spring catchment; 5.: direction of subsurface flow; 6.: spring with waterworks; 7.: other springs; 8.: surveyed cave passage; 9.: Fehérkői Limestone formation; 10.: tectonic fractures; 11.: reverse fault; 12.: studied part of catchment

A tanulmányban csak a vízrendszer felső szakaszával, a folyásirányban a Szepesi-barlang végpontja feletti területekkel foglalkoztunk (1. ábra). A vízrendszerhez karsztos és nem karsztos vízgyűjtő területek tartoznak. A vizsgált barlangszakasz a korábbi elképzelésektől (SÁRVÁRY, 1969) eltérően hidrológiailag teljesen független a Létrási-Vizes-barlangtól, amit a terület valamennyi barlangjában árhullámot indító csapadékesemények tetőzéseinek késése is bizonyít (SŰRŰ, 2013).

Csapadékadatok

A lefolyásmodellben felhasznált csapadékadatokat a Jávorkút területén (48°05'45.6"N 20°31'33.8"E) 2005-ben elhelyezett automatizált időjárás állomás mérte. Az állomás óránként rögzíti a mért meteorológiai adatokat (KOVÁCS & LÉNÁRT, 2012). A jelentős karsztárhullámot elindító csapa-

dékesemények közül csupán a 2010. június 1-2. közötti (Angéla) ciklonról nem rendelkezünk óránkénti bontású csapadékadattal (I. táblázat).

I. táblázat

Table 1

Rendelkezésre álló adatok az egyes árhullámokról: - nincs adat; + van adat; *sérült a műszer, értelmezhetetlen adatok; ** csak napi átlag

Available water level and precipitation of flood pulses: - available; + unavailable; *data logger malfunction; ** only daily average

Dátum	Speizi- bg.	Szepesi- bg.	Láner- bg.	Csapadékadat	Hótakaró
2005.07.13	-	+	-	+	-
2006.03.26-04.03.	+	+	+	+	+
2006.06.02-06.06.	+	*	+	+	-
2008.07.23-24.	+	+	+	+	-
2009.12.23-30.	-	+	-	+	+
2010.04.13-18.	-	**	-	+	-
2010.05.15-18.	-	+	-	+	-
2010.05.31-06.3.	-	+	-	-	-

Talajadatok

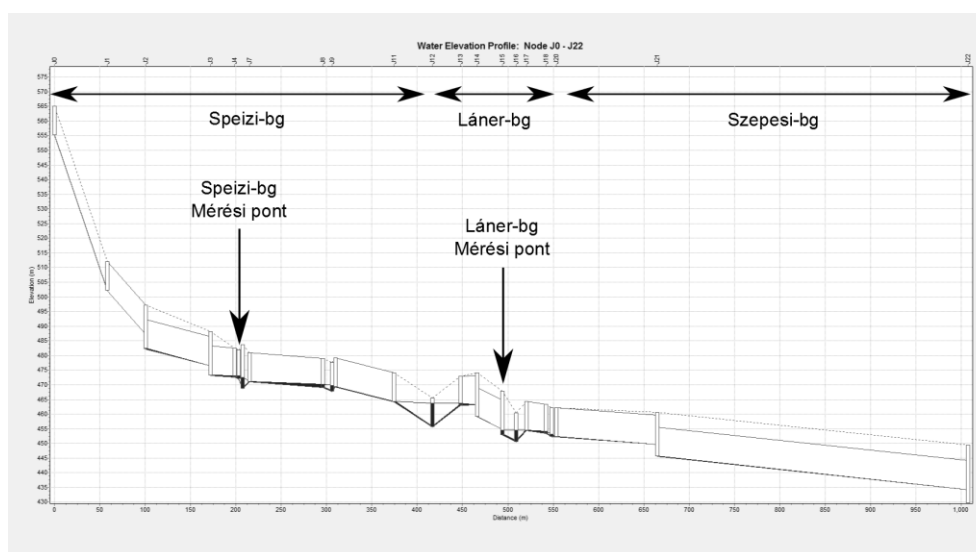
A Talajvédelmi Információs és Monitoring (TIM) és az AGROTOPO adatbázis nem nyújt sok információt, de a területen korábban végzett kutatások (VERESS – ZENTAI 2007, JÁMBOR 1959, SŰRŰ *et al.* 2014) alapján fizikai talajféleség szerint az agyagos és homokos vályogtalajok a jellemzőek. A talajvastagság a karsztosodott töbrös térszíneken igen heterogén. Jellemzően a kis lejtésű térszíneken és a töbrökben felhalmozódott üledékek felett haladja csak meg a két métert.

Lefolyásszámítás

A barlangba bejutó vízhozamot lefolyásmodell segítségével szimuláltuk a rendelkezésünkre álló órás felbontású csapadék idősor alapján. A lefolyásmodell felépítéséhez felhasználtuk a területről rendelkezésre álló 50 m-es felbontású ASTER domborzatmodellt, a területhasználatot mutató 2006-os CORINE adatbázist, a terület talajainak fizikai jellemzőiről rendelkezésünkre álló kutatási eredményeket, és a hasonló területekről modellezésénél a szakirodalomban talált értékeket (USDA, *Conservation Engineering Division*, 1996).

Barlangjáratok geometriája

A modellben felhasznált barlangjárat geometriát a Vidékfejlesztési Minisztérium Országos Barlangnyilvántartásának adatai és helyszíni bejárások alapján vettük fel. Nagy hangsúlyt fordítottunk arra, hogy pontosan kerüljenek be a modellbe az áramlás energiáját megtörő vízesések és visszaduzzasztást okozó szűkületek, barlangi szifonok adatai. Ismeretlen, térképezetlen szakaszok a Speizi-barlang víznyelője és a barlang patakos-ága között, valamint a Speizi- és Láner-barlangok közötti 25 méteres még feltáratlan szifon szakaszon voltak. Ezek a szakaszok a szomszédos járatokban és a Fehérkői Mészke Formáció más barlangjaiban mért járatszelvények alapján adtuk meg a várható keresztmetszet adatait. Ezeket később a modell kalibrációja során pontosítottuk (2. ábra).



2. ábra: Modellgeometria a kezdeti vízszintekkel (a Speizi-víznyelőtől a Szepesi-Láner bgrsz. Ny-i-ágáig)
 Fig. 2: Geometry of the model and initial heads (from the Speizi Ponor to the West branch of the Szepesi-Láner Cave System)

Barlangi-és karsztvízszintek

Modellünkkel a barlangjáratok karsztos árvizek lefutására gyakorolt hatását kíséreltük meg szimulálni, azokban az esetekben, amikor a karsztos árvizek a forrásokon keresztül a felszínen is károkat okozhatnak. Erre lehetőséget azok az esetek nyújtanak, amikor a karsztvíz áramlásának döntő többsége azokon a járatokon keresztül történik, amelyek alapján a modellgeometriát kialakítottuk, és ahol a mérési pontokat elhelyeztük.

Azt vártuk, hogy ez akkor lehetséges, ha a karszt porozitásának legnagyobb részét adó (KOVÁCS A. 2003, SZILÁGYI *et al.* 1980) fejletlen járatok, hasadékok jelentős tározási kapacitása feltöltődött. Majd az átlagosnál magasabb karsztvízszintre rakódik rá egy intenzív nagy csapadék okozta markáns árhullám (KOVÁCS & LÉNÁRT, 2012). Az ilyen árhullámok vízszintemelkedést okoznak a barlangjáratok közötti mészkőblokkokban is ezért az NV17-es karsztkút 1993 és 2014 közötti napi átlagos vízállásait vizsgáltuk meg, és leválogattuk az időszak során mért rendkívüli vízszintemelkedéseket. Rendkívülinek azokat az alkalmakat tekintettük, amikor a napi emelkedés nagyobb volt, mint a vizsgált időszakban észlelt napi emelkedések 99%-a, azaz minimum 1,4 m/d. A kiválogatott árhullámokból azokat használtuk fel a modell kalibrációjára, amelyek idején mindhárom barlangi mérőhelyről rendelkezünk vízszint adatokkal.

Az NV17-es kút a benne észlelt vízmozgások sebessége és a fúrási napló alapján nincs közvetlen kapcsolatban nagyobb karsztosodott járatokkal, vízjárása jól tükrözi a barlangjáratok közötti hasadozott blokkok vízmozgását.

A modell felépítése

A modell geometriáját a Speizi-, Lánér Olivér- és Szepesi-barlangok térképei és a poligonok alapján határoztuk meg. A csomópontokat a járatméret változásainál, vízeséseknél és szifonoknál vettük fel. A vízesések esetében a csomópontba torkolló vezeték befolyási magasságát megemeltük a csomópont aljához viszonyítva. Szifonok esetében zárt csőszakaszt használtunk és a szifon kezdetén, mélypontján és végén határoztunk meg csomópontot. Ezt leszámítva mindenhol nyitott csőtípust használtunk. A járatok esetében a szakirodalom alapján (PALMER, 2006) egységesen $n = 0.07$ Manning-féle érdességet használtunk, amit később a kalibráció is alátámasztott. A szifonok esetében a kalibráció alapján az $n = 0.05$ értékkel jobb eredményt kaptunk.

A barlangjáratba bejutó hozamok meghatározása mért adatok hiánya miatt körülményesebb. Ehhez az SWMM hidrológiai csomagjait használtuk: lefolyás (CN módszerrel), talajvíz, hóolvadás.

3. Eredmények

A modellépítés tapasztalatai és problémái

A tartós vízszintemelkedéseket csak a felszíni lefolyás figyelembevételével, reális lefolyási paraméterek és modellgeometria mellett nem sikerült előállítani. Egy-egy árhullám után gyorsan visszacsökkent a vízszint, a szí-

fonok duzzasztó hatása, az előterükben lévő terek záportározóként való működése kevésbé érvényesül. Az adott csomópontban a vízszintemelkedés maximum értékére hatással van a szifon előtti tározótér nagysága, de az árvi vízi csúcsok ellaposodása, időben való széthúzódása nem jellemző. Az árvi zek lefutási ideje szinte független a szifon előtti járatméretektől.

A felszíni lefolyás mellett lehetőség van a beszivárgás és talajvíz figyelembe vételére is, de ebben az esetben is csak koncentrált vízbetáplálásokra van mód. Az ebből származó vízmennyiséget a csomópontokhoz lehet hozzárendelni. A felszín alatti vízből/karsztvízből a diffúz átszivárgást a barlangjáratba így tudtuk modellezni.

Egyik jelentős adathiányunk a víznyelőn bejutó víz hozamának az időszora. A felszíni és felszín alatti lefolyásból származó vízmennyiséget a Jávorkúti automata mérőállomás csapadék időszora és a vízgyűjtő adottságai alapján modelleztük. Hozammérés segítségével az ebből adódó bizonytalanság kiküszöbölhető lenne.

A modell alapján elmondható, hogy nem csak a nem karsztos térszínről lefutó, hanem az agyagpalából, és az azt fedő törmelékből, talajból, a terület forrásain keresztül felszínre jutó és a karsztos vízgyűjtőn beszivárgó víznek is nagy szerep jut. Ez esetben a talajvízadó paramétereinek és karsztos beszivárgásnak az ismeretére is szükség van, ami hozammérésekkel szintén kiküszöbölhető, vagy meghatározható lehet. Az SWMM modell a vízadót nagyon leegyszerűsített módon kezeli, ami nehézkessé vagy lehetetlenné teheti az észlelt idősorok reprodukálását.

A paraméterérzékenységről

A modell paraméterigénye meghaladja az általunk rendelkezésre álló információmennyiséget. Ezen felül az érzékenységi próbálkozások tapasztalataként elmondható, hogy több paraméterre is nagyon érzékenyen változnak a futtatások kimeneti értékei (*PETERSON & WICKS, 2006*). A munka során a modell kiemelkedően érzékenyen reagált a vízadó kezdeti nedvességtartalmára vagy a szifonszakaszokat felépítő vezetékelemek magasságára. A vízadó egyéb paramétereinek változása is jellemzően nagy eltéréseket okozott az eredményben.

Ez egy sokparaméteres modell esetében kérdésesé teszi a kalibrációt. Ha sikerül is a kalibrálás során a mért adatokkal, megfelelően egyező eredményeket előállítani, az nem biztosíték arra, hogy a valós értékeket legjobban közelítő paraméter kombinációval számoltunk, azaz hiába az eredmények jó egyezése, ha modellünket nem a megfelelő törvényszerűségek működtetik, akkor a kalibrációs értékeken kívüli intra- és extrapolációk során további problémáink támadhatnak.

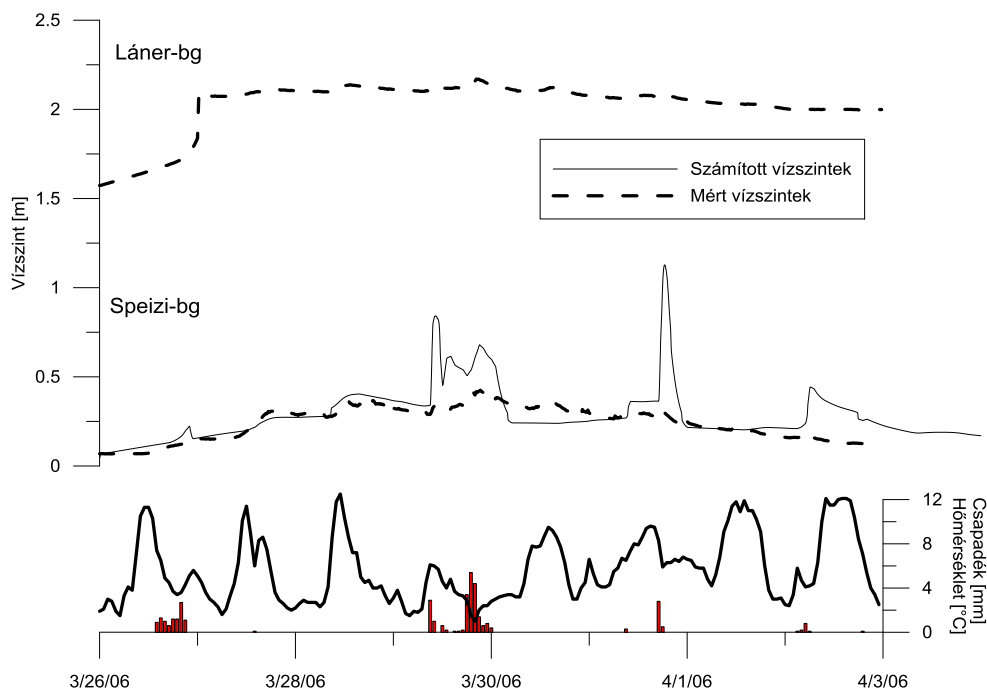
A modellfuttatás eredményei

2006. márciusi árvíz

Kiváltója az intenzív olvadás és a még legalább 60 mm-nyi hóban tárolt vízkészletre ráhulló két csapadék esemény: március 26-án délután 10 mm, 29-én délután 31.5 mm hullás történt (KOVÁCS & LÉNÁRT, 2012).

A csapadék és vízszint idősorok alapján a nagy csapadékhullások által okozott, gyors felszíni lefolyásból származó vízszintemelkedések egyértelműen azonosíthatóak. Ezen felül több másik vízszintmaximum is megjelenik, amiknek a kiváltója a napi hőmérsékletingadozás által okozott hóolvadás. A csúcsok mellett egy lassú emelkedés, majd lassú apadás is megfigyelhető az adott időszak vízszint idősorában, amit a barlangjáratokba diffúzan bejutó víz okozhatott (

3. ábr).



3. ábra: Számított és mért vízszintek a 2006. márciusi árhullám idején
Fig. 3: Calculated (continuous line) and observed (dashed line) water levels in March 2006

Ez az összetett vízszint idősor megfelelő alap lehet a modell működésének ellenőrzéséhez. Az SWMM segítségével a mért vízszinteket nem sikerült teljes mértékben reprodukálni, de a jellemző változások megjelennek

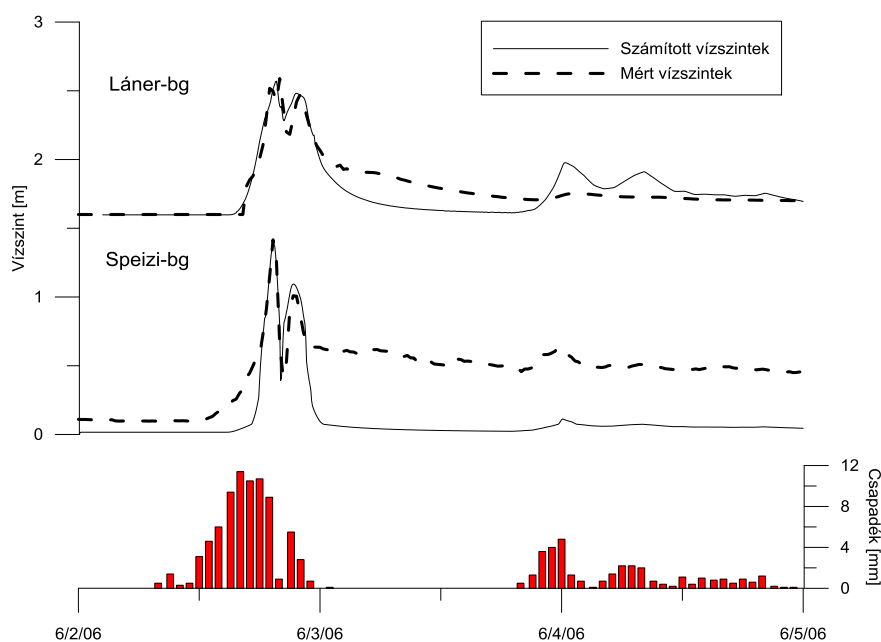
a számított eredményekben. Jó egyezést a lassú emelkedési szakaszban sikerült elérni. A 29-ei és a kisebb 30-ai esőből származó lefolyás viszont már a hóolvadásból származó vízmennyiséggel együtt túlságosan nagy hozamot ad, ami nem egyeztethető össze a mért vízszintekkel. Az apadási időszakban a hóolvadást figyelmen kívül hagyva jobb egyezéseket sikerült elérni. Ezt viszont nem tekintjük jó megoldásnak, mivel a napi hőmérsékletingadozás és hóolvadás által okozott vízszintemelkedések megfigyelhetőek a mért adatokban is.

A Speizi-barlangban a vízszintregisztráló utáni szifon jelentős hatással lehet a vízszintekre, visszaduzzadás révén. A szifon járatának szélességének és magasságának változtatására a modell eredménye nagyon érzékenyen reagált. Legjobb eredményeket 20 cm és 30 cm közötti értékekkel kaptunk.

A modell alapján tehát megállapítható, hogy a barlangba bejutó víz egy része csapadékból, másik része pedig a hóolvadásból származik. A bejutás módja szintén megoszlik a felszíni lefolyás (víznyelőn át) és a felszín alatti lefolyás között.

2006. júniusi árvíz

A hónap elején, egy nap alatt leeső 77 mm csapadék a Speizi-barlang járható részének végén, a szifonnál 1,2 métert meghaladó vízszintemelkedést okozott.



4. ábra: Számított és mért vízszintek a 2006. júliusi árhullám idején
Fig. 4: Calculated (continuous line) and observed (dashed line) water levels in July 2006

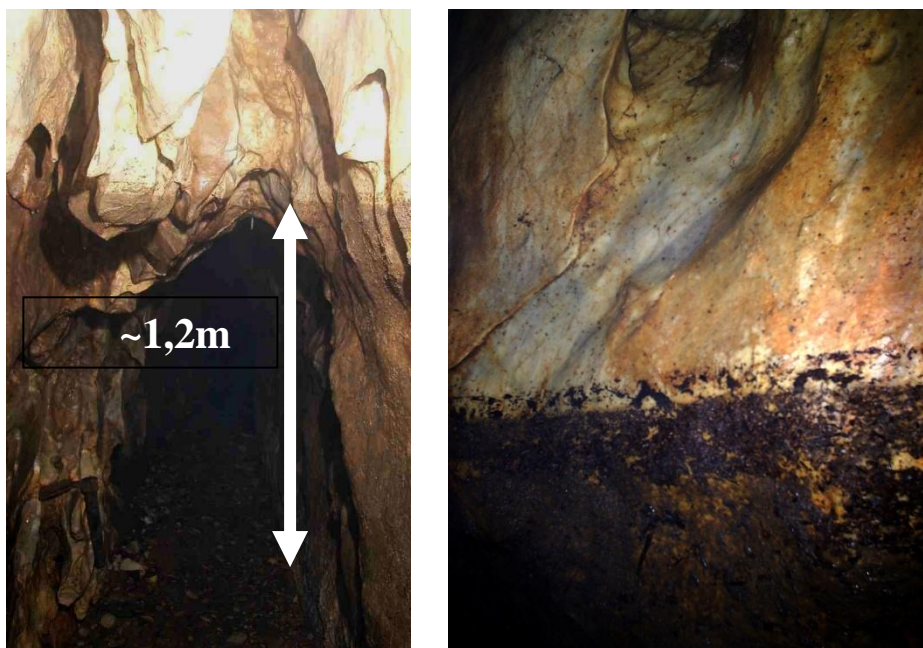
Az első eredményekben a két csúcs között magasabban marad a vízszint, mint ahogy a mért idősorban látható (

4. ábr). Ez a csapadékmérés időbeni felbontásával magyarázható. A csapadék idősorban az 1 óránál rövidebb változások (pl. csapadékszünet) nem jelennek meg a mérésekben, ezzel szemben a vízszintmérések 20 perces mintavételi periódussal történtek. Ezt korrigáltuk a csapadék idősor sűrítésével és az adott szakaszon az órás csapadékot az első 20 percbe összegeztük (ami még így is töredéke az előző 20 perces időszakokban esett mennyiségnek). Így a maximumok esetében jó egyezést sikerült elérni a mért és számított értékek között.

Az csúcsok lecsengése után ebben az esetben is napokig egy lassan apadó magas vízszint marad vissza, amit nem sikerült a modellel reprodukálni. Az SWMM talajvízadó egységével való közelítés nem vezetett eredményre.

A Láner Olivér-barlangban, a Homokszifonnál a kiugró csapadék hatására a vízszint nagyjából 1 métert emelkedett. Itt szintén jó egyezést sikerült elérni a modellezett és mért vízszintek között. A Speizihez hasonlóan viszont a lassú lecsengés modellezése itt is problémákba ütközött.

A visszaduzzadás a Speizi szifon mögötti részén 1 m körüli, ami nagyon jól egyezik a 2007-es feltárás után itt talált igen határozott színű magasságával (5. ábra)



5. ábra: A Speizi-barlang 2007-ben feltárt új szakaszaiban talált határozott uszadék színlök jelzik az árvíz tetőzési szintjét.

Fig.5: Debris on the wall of newly discovered parts of Speizi Cave indicating flood water level.

4. Összefoglalás

A kutatások során a meglévő barlangtérképek alapján felépített modell rávilágított annak ellenére, hogy a barlang geometriájáról pontos adatok álltak rendelkezésünkre, a többi paraméter megbízhatatlansága megnehezíti a modellezést. Ez kiemelten igaz a barlangba bejutó víz hozamának számítására, ami a munka jelentős részét tette ki. A számításhoz használt paraméterek bizonytalansága valamint a modell egyszerűsített számítási módszere (homogén vízgyűjtőterület, vízáadó) az eredményeket kérdéssé teszi.

Összességében elmondható, hogy az SWMM modell segítséget nyújthat az árvízi vízszint idősorok egyes jellemzőinek vizsgálatához, a lehetséges okok feltárásához. Megbízható előrejelzésre való használatához azonban részletesebb kutatás és adatgyűjtés szükséges.

Köszönetnyilvánítás



A tanulmány/kutató munka a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági

Központ TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÚTFŐ” projekt-jének részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

IRODALOM

- CAMPBELL, W. C. – SULLIVAN, S. M.* (2002): Simulating time-varying cave flow and water levels using the Storm Water Management Model. – *Engineering Geology*, 65(2-3), pp. 133-139.
- GABROVSEK, F. – PERIC, B.* (2006): Monitoring the flood pulses in the epiphreatic zone of karst aquifers: the case of Reka River System, karst plateau, SW Slovenia. – *Acta Carsologica*, 35(1), pp. 35-45.
- JÁMBOR, Á.* (1959): A Bükk-fennsík pleisztocén „vályog”-képződményei. – *Földtani Közlöny*, 89, pp. 181-184.
- KOVÁCS, A.* (2003): Geometry and hydraulic parameters of karst aquifers.: PhD Thesis, Neuchatel: UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL, 131 p.
- KOVÁCS, P. – LÉNÁRT, L.* (2012): A 2006-os és 2010-es bükki karsztárvizet okozó csapadékok elemzése. – In D. Nyári (Szerk.), Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, (pp. 1098-1108). Szeged.
- LÉNÁRT, L. – DARABOS, E. – CZESZNAK, L. – HERNÁDI, B. – KOVÁCS, P. – TÓTH, K. – . . . BALLA, B.* (2013): A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer 20 éves fennállása alatt elért legfontosabb kutatási eredmények, ill. a jövőbeli kutatási irányok áttekintése. – In B. Zákányi, & K. B. Faur (Szerk.), IX. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Miskolc: Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, pp. 378-383.
- LI, Y. – JIANG, Y. – YUAN, D. – LI, L.* (2008): Modeling hydrological responses of karst spring to storm events: example of the Shuifang spring (Jinfo Mt., Chongqing, – China). – *Environmental Geology*, 55, pp. 1545-1553.
- PALMER, A. N.* (2007): *Cave Geology* (Third Edition (2012)). (R. A. WATSON, Szerk.) Dayton, Ohio, United States of America: CAVE BOOKS, 454 p.
- PELIKÁN, P.* (2005): A Bükk hegység földtana. Budapest: Magyar Állami Földtani Intézet.p. 284.
- PELIKÁN, P. – BUDAI T. – LESS, G.* (2005): A Bükk hegység földtana:magyarázó a Bükk-hegység földtani térképéhez (1:50 000). – Budapest, Magyar Állami Földtani Intézet.

- PETERSON, E. W. – WICKS, C. M.* (2006): Assessing the importance of conduit geometry and physical parameters in karst systems using the storm water management model (SWMM). – *Journal of Hydrology*, 329, pp. 294-305.
- ROSSMAN, L. A.* (2007): Storm water management model user's manual version 5.0. – Cincinnati, Ohio, United States: US- EPA.
- SÁRVÁRY, I.* (1969): A Létrás-Istvánlápai-barlangrendszer. – *Karszt és Barlang*, II., pp. 53-56.
- SÚRŰ, P.* (2010): Legújabb karszthidrogeológiai kutatási eredmények a Fehérkői Mészke Formáció Szinva-völgytől nyugatra eső szakaszán. Diplomamunka Miskolc: Miskolci Egyetem.p. 52.
- SÚRŰ, P.* (2013): Barlangi vízfolyások várható árvízi vízszintjének meghatározási módszerei bükki karsztárterek alapján. – *Karsztfejlődés*, XVIII., pp. 37-48.
- SÚRŰ, P. – PETHŐ, G. – NÉMETH, N.* (2014. április 3-6.). Töbrök vízföldtani és geofizikai vizsgálata. – Bányászati, Kohászati és Földtani konferencia, XVI., pp. 233-237.
- SZILÁGYI, G. – BÖCKER, T. – SCHMIEDER, A.* (1980): A Bükk hegység regionális hidrodinamikai képe és karsztvízforgalma. – *Hidrológiai közlöny*, 2., pp. 49-55.
- USDA, Conservation Engineering Division. (1996. Június). Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55, Second Edition, 164. Washington DC, United States of America: USDA.
- VERESS, M. – ZENTAI, Z.* (2007): Karsztjelenségek minősítése a Bükk-hegység néhány mintaterületén a mészkőfekü morfológiájának és a fedrűledékek szerkezetének értékelésével. – *Karszt és Barlang*, 2007, pp. 37-54.